

Archeologia e Calcolatori
19, 2008, 187-194

LE STRATIFIANT, UN OUTIL DE TRAITEMENT DES DONNÉES STRATIGRAPHIQUES

1. INTRODUCTION

La méthode stratigraphique actuellement appliquée aux sites urbains est issue des travaux des archéologues britanniques, en particulier Edward Harris. On doit à celui-ci le diagramme stratigraphique (Harris Matrix), représentation sous forme de graphe de l'ensemble de la chronologie stratigraphique d'un site, introduite il y a trente ans (HARRIS 1979).

Cette innovation correspondait à un profond changement de conception de la stratigraphie archéologique. En effet, le modèle stratigraphique d'Edward Harris n'est plus basé sur la notion de coupe de référence ni sur la lecture verticale des strates (toutes deux insuffisantes dans les cas de stratifications complexes caractérisant les sites urbains); il repose sur une analyse du terrain recourrant aux notions d'interface (contact physique observable sur le terrain correspondant à une relation stratigraphique: superposition, recoupement, etc.) et d'unité stratigraphique (unité de terrain définie et située chronologiquement par ses interfaces), notions autour desquelles l'enregistrement est organisé. La réalisation du diagramme stratigraphique correspond à la synthèse chronologique des unités et relations enregistrées sur le terrain, en plusieurs étapes: établissement de la chronologie stratigraphique, puis regroupement en ensembles structurels ou chronologiques des unités, aboutissant, au fur et à mesure des différentes études liées à la fouille, à une mise en phases inscrite dans le temps quantifié.

Lors d'opération archéologiques portant sur des sites très stratifiés de type urbain, le diagramme stratigraphique est donc un outil essentiel, notamment comme document de référence chronologique pour les différents spécialistes de la culture matérielle et d'archéologie environnementale travaillant sur les éléments recueillis. Cependant, la réalisation manuelle du diagramme est coûteuse en temps, ce qui constitue un défaut grave au regard des contraintes de l'archéologie préventive.

Dans ce contexte, l'intérêt d'outils fournissant une aide automatisée à la réalisation du diagramme stratigraphique est clair; surtout s'ils peuvent s'insérer dans les systèmes informatisés de gestion des données de fouille, aujourd'hui devenus courants. Passer de l'axiomatisation proposée par Harris à une formalisation du traitement des données stratigraphiques, permettant une réalisation automatisée, constitue une direction de recherches suivie par plusieurs équipes en Europe et qui a abouti à plusieurs applications telles *ArchEd* ou *Stratify* (LOCK 2003; HERZOG 2006).

L'outil informatique ici présenté (le *Stratifiant*) s'inscrit dans cette direction de recherche. Il se caractérise par les fonctions suivantes:

- vérification de l'enregistrement et détection des erreurs logiques;
- obtention d'un diagramme stratigraphique tracé automatiquement, suivant une représentation graphique spécifique, différant de celle de la Harris Matrix classique;
- capacité à traiter et visualiser sur le diagramme des relations incertaines (de type "peut-être sous" ou "peut-être synchrone": cette modalité d'incertitude est utile pour résoudre certains problèmes d'ambiguïté liés au synchronisme stratigraphique tel que défini par Harris, ainsi que pour répondre à des situations de terrain d'où l'incertitude ne peut être exclue);
- aide à la mise en phase;
- traitement et visualisation de l'inscription de la chronologie stratigraphique dans le temps quantifié, sous forme de paliers de datation sur le diagramme, et d'un graphique de datation dans le temps continu, à partir de dates-plancher (*terminus post quem*) et dates-plafond (*terminus ante quem*) affectées aux unités stratigraphiques;
- visualisations de requêtes opérées sur les unités stratigraphiques depuis une base de données, par mise en couleurs spécifiques des unités concernées sur le diagramme.

Pratiquement, le *Stratifiant* existe sous forme d'un ensemble de modules de programme écrits en langage VBA, et s'utilise comme une série de macro-commandes depuis sous le logiciel extrêmement répandu Microsoft Excel, dont les fonctions graphiques sont utilisés pour tracer le diagramme (une version pour la suite logicielle libre OpenOffice est à l'étude).

2. LE TRAITEMENT DES DONNÉES STRATIGRAPHIQUES (OBTENTION DU DIAGRAMME)

Les données nécessaires au traitement consistent en une liste d'unités stratigraphiques, comprenant au minimum un identifiant; et une liste de relations stratigraphiques, chacune formée d'un couple d'unités ainsi que d'une modalité déterminant s'il s'agit d'une relations d'antéro-postériorité certaine ("sous"), ou incertaine ("peut-être sous"), ou d'un synchronisme certain ("synchrone avec"), ou incertain ("peut-être synchrone avec"). Ces données peuvent être saisies directement, ou importées depuis une base de données d'enregistrement.

Sur le fond, la formalisation utilisée s'appuie sur la théorie des graphes (la *Harris Matrix* n'étant pas, au sens propre, une matrice, mais un graphe), et plus précisément sur les graphes d'ordonnancement de tâches utilisés en Recherche Opérationnelle; et en particulier sur la méthode "Potentiel-Tâches"

élaborée par le mathématicien Bernard Roy, qui aboutit à un type de graphe (graphe MPM) conceptuellement voisin du diagramme stratigraphique.

Le traitement lui-même recourt à une matrice d'adjacence (matrice composée des unités stratigraphiques en lignes et en colonne, et qui contient les relations stratigraphiques codées sous forme de valeurs). Bien qu'assez encombrante en mémoire informatique, cette solution permet un traitement simple par balayage de la matrice, en employant la propriété de transitivité qui caractérise la relation d'ordre qu'est l'antéro-postériorité stratigraphique, et la relation d'équivalence qu'est le synchronisme. La distance stratigraphique liée à chaque relation (correspondant à la longueur du chemin critique entre les deux unités) est ainsi calculée. Le traitement matriciel permet aussi une détection aisée des fautes et conflits logiques: ceux-ci sont marqués par l'apparition de distances stratigraphiques supérieures à 0 dans la diagonale (relations réflexives, révélatrices de circuits dans la succession enregistrée).

Les relations "non redondantes" (non déductibles), seules retenues pour figurer sur le diagramme stratigraphique, de distance stratigraphique égale à 1, peuvent ensuite être extraites. C'est à ce stade notamment que les relations incertaines (que l'on signale par des valeurs négatives) sont l'objet d'un traitement spécifique: en effet la règle d'élimination des relations déductibles ne s'applique pas entre relations certaines et incertaines, de façon à garder visible sur le diagramme le fil de la chronologie certaine. Le diagramme est tracé par balayage de la matrice sur les seules valeurs de relations non redondantes.

La représentation graphique adoptée pour le *Stratifiant*, que nous qualifions "d'ortholinéaire", affecte un segment de droite vertical à chaque relation d'ordre entre deux unités, et un segment de droite horizontal à chaque synchronisme. Ce choix de représentation nous a paru judicieux, car outre sa facilité de construction, il évite les lignes brisées et les traits communs à plusieurs relations de la *Harris Matrix* traditionnelle (parfois générateurs d'ambiguïtés à la lecture), tout en conservant aux traits une orientation définie en fonction du temps. Il nécessite cependant de répéter l'étiquette d'une unité lorsque celle-ci a plusieurs antérieures ou postérieures non redondantes, en mettant cette unité en égalité avec elle-même. Par ailleurs, l'existence d'un segment distinct pour chaque relation permet de visualiser aisément des attributs spécifiques de la relation par des attributs graphiques du trait. La modalité d'incertitude est le premier de ces attributs: elle est figurée par un trait vertical pointillé pour les relations d'ordre; et par la "mise en filigrane" du trait horizontal sous forme d'une bande horizontale large et hachurée pour le synchronisme incertain.

3. L'INSCRIPTION DANS LE TEMPS QUANTIFIÉ

Il est possible d'inscrire la chronologie relative ordonnée figurée par le diagramme stratigraphique dans le temps quantifié, si l'on dispose de quelques

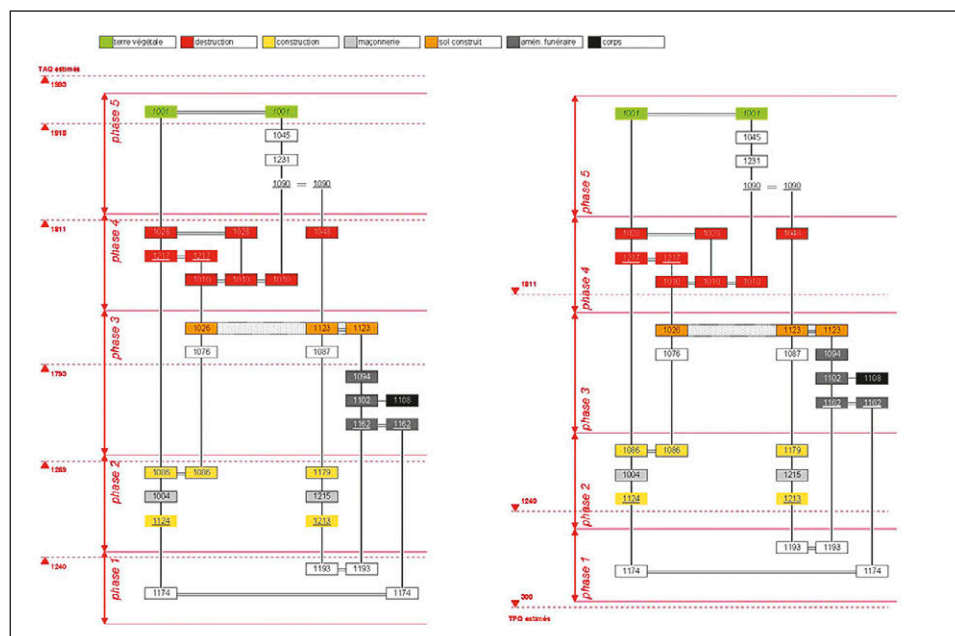


Fig. 1 – Exemple de diagramme mis en phase, avec paliers de datation et visualisation en couleur de catégories d’unités, obtenu automatiquement avec le *Stratifiant*. À gauche le diagramme calé sur les TAQ; à droite le même calé sur les TPQ.

indicateurs de datation absolue attachés aux unités stratigraphiques. Ces indicateurs, bien connus des fouilleurs (mais pas toujours bien utilisés...) sont le *terminus post quem* (TPQ), ou date-plancher, et le *terminus ante quem* (TAQ) ou date-plafond. TPQ et TAQ sont les deux bornes qui encadrent la date d’une unité stratigraphique; plus précisément, la date de la fin de la formation de cette unité (car une unité stratigraphique est aussi pourvue d’une durée de formation; mais nous continuerons ci-dessous, par commodité, à parler de la “date de l’unité” pour parler de son instant final). En d’autres termes, la date d’une unité est nécessairement postérieure à son TPQ, et nécessairement antérieure à son TAQ.

On retrouve ainsi une relation d’ordre, qui s’exerce ici dans le temps quantifié et non plus seulement dans le temps séquentiel de la stratigraphie, et qui permet de passer de l’une à l’autre sorte de temps. Si la date d’une unité est postérieure à son TPQ, les dates de toutes les unités stratigraphiquement postérieures sont nécessairement aussi postérieures à ce TPQ: le TPQ d’une unité est aussi celui des unités postérieures (sauf si celles-ci disposent de TPQ plus récents). De même le TAQ d’une unité, dans le sens chronologique op-

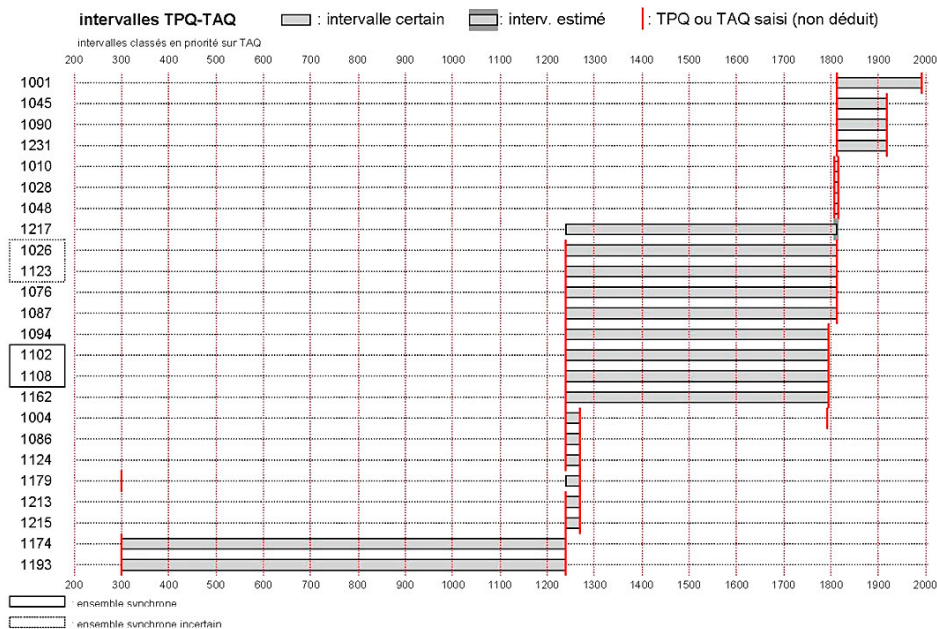


Fig. 2 – Le graphique des intervalles TPQ-TAQ, correspondant au diagramme de la Fig. 1.

posé, est aussi celui des unités antérieures (sauf si celles-ci disposent de TAQ plus anciens. Le report des TPQ et TAQ via la stratigraphie, pratiqué souvent de façon plus ou moins contrôlée, intuitive et limitée, est ainsi systématisé et automatisé. On peut par conséquent fournir une fourchette TPQ-TAQ pour chaque unité (en recourant à un TPQ “absolu” sûrement antérieur à toute la stratification et à un TAQ “absolu” qui peut être la date du début de l’opération archéologique, pour fermer les intervalles quand c’est nécessaire). Ce calcul inclut la détection des fautes et incohérences de datation (qui se traduisent par des intervalles de temps négatifs).

Cette inscription de chaque unité dans le temps quantifié – inscription plus ou moins précise, en fonction de la largeur de l’intervalle d’imprécision qu’est la fourchette TPQ-TAQ – est visualisée de deux façons.

Des paliers, lignes horizontales portant chacune une indication de date, peuvent être disposés dans le diagramme stratigraphique de sorte que le TPQ de chaque unité soit le premier palier situé sous cette unité; ou que le TAQ soit le premier palier situé au dessus de cette unité. En raison de l’inégalité des intervalles TPQ-TAQ, il n’est pas possibles d’opérer une mise en paliers du diagramme simultanément sur les TPQ et les TAQ. Il faut donc choisir de caler le diagramme soit sur les TPQ (c’est à dire au plus ancien), soit sur les

TAQ (c'est à dire au plus récent). Les deux diagrammes obtenus représentent les deux extrêmes des dispositions possibles des unités en tenant compte des indicateurs de datation (Fig. 1).

Pour visualiser simultanément les TPQ, TAQ et les intervalles qu'ils représentent, une représentation graphique distincte est créée. Ce graphique des intervalles TPQ-TAQ est inscrit dans l'échelle continue du temps quantifié, gradué en année. Il constitue aussi un index chronologique des unités (Fig. 2).

Notons qu'il est possible de traiter de façon différentielle les TPQ et TAQ certains, et d'autre considérés comme seulement "estimés", c'est à dire correspondant à une hypothèse du fouilleur et du spécialiste chargé de l'étude de l'élément daté, mais qui n'a pas de caractère de certitude (ainsi concernant une datation C14, la date suggérée comme la plus probable pourra constituer un TPQ estimé, le TPQ certain pouvant correspondre à la borne ancienne de l'intervalle de probabilité à 90%). Cette possibilité permet d'effectuer des tests d'hypothèses chronologiques.

4. L'AIDE À LA MISE EN PHASE

L'aide automatisée peut aussi porter sur l'étape de regroupement des unités en phases. En effet, à partir de l'attribution à des phases définies d'une partie seulement des unités enregistrées, et au moyen des relations stratigraphiques existant entre les unités déjà mises en phase et celles qui ne le sont pas encore, le *Stratifiant* peut vérifier la cohérence de la succession des phases indiquées par l'utilisateur, attribuer aux unités non "phasées" une phase au plus ancien et une phase au plus récent, et proposer une mise en phase générale, là encore soit plus ancien, soit au plus récent. Cette mise en phase est visualisée sur le diagramme par des séparations horizontales avec l'indication des phases en marge.

5. INTÉGRATION DANS UN SYSTÈME

Le *Stratifiant* peut communiquer avec des bases de données d'enregistrement de terrain (sous réserve que le modèle de données mis en œuvre dans ces bases s'y prête: la base doit disposer d'une structure relationnelle lui permettant d'exporter une table des unités, et une table des relations sous forme de couples d'unités). De fait, il est actuellement testé en tant que module de traitement et d'exploitation de données stratigraphiques avec différents systèmes de terrain déjà existants (en particulier le système *bdB* utilisé à Bibracte).

Il est ainsi possible de générer des diagrammes stratigraphiques directement à partir des données saisies; par exemple lors de la fouille pour un traitement quotidien des données enregistrées, ce qui permet de disposer en permanence d'un diagramme progressivement mis à jour, et une détection immédiate des fautes logiques d'enregistrement.

Il est aussi possible de visualiser sur le diagramme le résultat de requêtes effectuées dans la base de données d'enregistrement associée. La procédure est simple: les enregistrements résultant d'une requête portant sur les unités, opérée en fonction des informations gérées par la base de données (par exemple: toutes les unités interprétées comme construction; ou tous les ensembles clos ET qui contiennent de la céramique...) sont affectés d'une légende et d'un code de couleur, au choix de l'utilisateur (l'ensemble de la palette RVB est disponible). Plusieurs requêtes successives peuvent être opérées pour créer plusieurs catégories d'unités chacune munie d'une légende et d'une couleur. Ces codes de couleur et légendes sont importés avec la liste des unités dans le *Stratifiant*, qui procède sur demande à la mise en couleur du diagramme et à l'affichage des légendes.

Ce type de liaison, qui fait d'une base de données d'enregistrement la partie attributaire d'un diagramme stratigraphique, permet de transformer ce dernier en un document dynamique, à l'instar des représentations spatiales de systèmes d'information géographique.

6. CONCLUSIONS

Ce travail s'inscrit dans une approche pragmatique, ne visant pas à une démonstration de technologie informatique d'avant garde, mais s'orientant sur un outil simple, utilisable même avec un faible niveau d'équipement informatique, et au plus près possible des contraintes pratiques de terrain. Cette approche a conduit au développement de fonctions par ailleurs peu explorées par d'autres outils: ainsi le traitement de relations affectées d'une modalité d'incertitude. Elle a aussi conduit à un choix technique «rustique» d'implémentation sous un logiciel très courant.

Le *Stratifiant* est actuellement en phase d'essais auprès de plusieurs équipes (centre archéologique européen Bibracte notamment). Son développement, et les aspects méthodologiques et théoriques auquel il renvoie, font l'objet d'une thèse soutenue en 2008. La première version opérationnelle (*Le Stratifiant* 0.3) est disponible gratuitement (sous forme d'un classeur Excel contenant l'application) ainsi que cette thèse, à partir de janvier 2009 à l'adresse suivante: <http://le-nid-du-stratifiant.ouvaton.org/>.

BRUNO DESACHY

UMR 7041 ArScAn Archéologies et Sciences de l'Antiquité
Archéologies environnementales
Université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne

BIBLIOGRAPHIE

DESACHY B., DJINDJIAN F. 1990, *Sur l'aide au traitement des données stratigraphiques des sites archéologiques*, «Histoire et Mesure», 1/2, 51-88.

- DESACHY B. 2005, *Du temps ordonné au temps quantifié: application d'outils mathématiques au modèle d'analyse stratigraphique d'Edward Harris*, «Bulletin de la Société Préhistorique Française», 102, 4, 729-740.
- FAURE R., LEMAIRE B., PICOULEAU Ch. 2000, *Précis de recherche opérationnelle. Méthodes et exercices d'application*, Paris, Dunod, 5^e éd.
- HARRIS E.C. 1979, *Principles of Archaeological Stratigraphy*, London, Academic Press (2^e éd. 1989).
- HERZOG I. 2006, *No news from stratigraphic computing?*, in *Workshop 10 Archäologie und Computer. Kulturelles Erbe und neue Technologien (Vienna 2005)*, CD, Vienna.
- LOCK G. 2003, *Using Computers in Archaeology. Towards Virtual Pasts*, London-New York, Routledge.

ABSTRACT

“Le Stratifiant” is a simple tool for stratigraphic data processing, which can create stratigraphic diagrams with various functions: inscription in the absolute time according to the TPQ (*terminus post quem*) and TAQ (*terminus ante quem*) available, processing of dubious relations, phasing. Developed under the current software Microsoft Excel, “Le Stratifiant” can communicate with excavations recording databases.